开放科学中的学术交流研究综述

顾立平
中国科学院国家科学图书馆
副研究员　科技信息研究咨询中心副主任
gulp@mail.las.ac.cn

>>【摘要】

简介开放科学的含义及其结构与动因，说明新一代科技信息交流需求是开放科学发展的主要动力，分析开放科学计算工程的发展条件，并且提出学术交流支撑服务的若干想法。

>>【关键词】

网格　云计算　社会网络　公众联合资源　学术交流需求　科技信息政策　Web2.0　eScience

1　开放科学是一种新型科技交流方式

当前，科技发展日新月异，交错复杂，无论是大科学含义下的全球性大型联合研究项目，还是小科学含义上的独立创作工作，在这个日益变化的时代，都需要了解开放科学的影响。

1.1　开放科学是什么

“开放科学”（open science）是指除了最终研究成品之外，研究人员分享他们在研究过程中的每个元素，以促进研究人员之间合作的一种新型科研方式，它能够促使科研人员自发地开展新的虚拟合作研究[1]。例如，根据机构知识库的存缴政策，机构支持的科研人员在科学研究过程中，其所累积的数据以及投稿论文的最终修订稿等，都是属于最终研究成品以外（如期刊刊出的论文或者合成化学药品）的研究过程中的素材；提供这种素材是加入开放科学的方式之一；不过，开放科学还具有更为广泛的泛知识管理机制。

开放科学是一种知识生产的动力系统。从技术前瞻（technological foresight）的角度来看，未来科研工作的进展，取决于当前知识的生产、存储、利用、传播（开放性和可读性）对未来科研活动的设计和限制。从公平与效率的经济学原理来看，开放科学是信息披露和保密之间的平衡机制，通过平衡达到效率的最优化，意即信息披露的利益取决于随后研究人员使用披露信息的一部分，因此，保密知识的成本以及个人寻找知识的相对弱势等因素是开放科学的相对优势[2]。从知识社会学的长期战略思维来看，保持科学开放能够提供更高层次的社会福利，在一些公共政策领域里，开放科学具有得到公众支持、适当规划知识产权权益、强化科学规范和机构作用等好处。

以计算机工程的角度来看，开放科学的具体应用包括 4 项要素：①科学数据、元数据的发布执行原则；②开源和基于网络的使用、验证和探索研究；③云计算和分布式计算效率；④基础设施共享[3]等。这 4 项基础要素是开放科学当前在业

基金项目：
本文系中国科学院国家科学图书馆指向性人才研究基金资助项目“科技信息政策研究与咨询”（项目编号：馆 1203）研究成果之一。

收稿日期：2012.07.11
发表日期：2013.02.28

DOI: 10.7536/j.issn.2095-5472.2013.02.002

界比较普遍的一种范畴和内容。下文将提到这些内容的具体含义和发展条件。

1.2 开放科学的发展动因与结构

开放科学的发展动因在于科学家如何决定是否与他们的同事共享或者不会共享信息，然后才是开放科学的基础建设和计算工程，其发展结构受制于每项具体的科技信息政策。

有关研究表明，社会资本（即预期互惠）与科学家社群在何种程度上符合开放科学的信息共享相关规范有关，而科学界彼此之间的竞争利益则是中等程度的影响因素，其取决于科学家属于哪种社会网络与行业竞争系统[4]。 换言之，不同学科、不同科学社群以及不同国家地区等的科研制度结构，也会影响该领域的开放科学进展。例如，一项针对丹麦生命科学研究人员所做的专利对学术研究的意义及其开放科学的观点的调查显示：从事基础研究（特别是生产力相对较低）的科学家对专利的学术研究意义持怀疑态度；而研究资助的受助人、与业界密切相关的科学家以及全职教授和高生产力的科学家们，则不太关心开放科学的事情[5]。可见，开放科学的理念正确，但是实行起来还还存在若干问题，值得进一步研究。特别是开放科学作为知识生产的动力系统，其发展动因在于科学界的预期互惠原则。

另外一项结构性因素是市场设计，市场设计的三个基本原则是：市场厚度、去除拥塞和市场安全。良好的市场设计可能带来创新型社会的健全发展，而违反市场设计的原则，则可能抑制资源配置的效率。有人从市场设计的角度，提出开放科学所披露的规范价值，可能会对生产思想的作者获得市场回馈的能力产生质疑[6]。人们已注意到开放科学发展过程中的危机，但是，为什么又需要开放科学呢？

2 科技信息交流的新需求

学术交流向来是科技发展的一个重要组成部分，健全良好的学术交流体制会促进科技创新，反之亦然。当前以及可预见的未来科技创新，将更加依赖学术信息交流并将其作为一个重要基础。科技信息交流的新需求有四个特点：大规模计算资源的需求、全球共同研究的需求、数据驱动科研以及研究成果再利用的需求。这 4 项需求，促使科技信息交流朝向开放科学的方向发展。

2.1 大规模计算资源的需求

首先，尽管个人计算工具的数量不断增加（如笔记本电脑的快存记忆体、中央处理器、高容量记忆体等），但是科学研究数据的增长规模更为巨大！趋势表明，科研用户如何管理大规模的复杂性数据将成为未来科技发展的主要基础设施问题，因为这些科研数据可能让用户的计算资源饱和，而使得用户自己面临窘境，并且扼杀协作和共享[7]。从大科学的角度来看，计算资源甚至已经成为国家战略资源的一部分，其重要性不亚于战略性储备石油或者粮食。

计算科学的最新进展是使用千万亿次的资源，加深科学观察的细粒度以及加大科学成果的规模；它可以处理诸如材料科学的物质研究、艾滋病毒的物种研究、脑血管血流动力学的生物医学应用[8]等复杂科学的问题。形象地说，这类研究需要的不仅仅是可验证的范式，还需要不断实验所带来的“好运气”，人们必需借助开放科学所带来的大规模计算资源，来增加“掷骰子”的次数，以获得哪怕只是一点点的“好运气”的机会（推荐阅读《上帝掷骰子吗：量子物理史话》一书）。

2.2 全球共同研究的需求

在海洋科学领域的科学文献方面，学术资源集成商 EBSCO 为科学界提供了一份开放科学指南——一份免费提供给发展中国家的机构和科学家的科学期刊目录[9]。然而，这仅仅是附和，而非真正满足了全球共同研究项目的需求。科学家真正需要的开放科学模式是通过先进的统计方法和工具，如分类、关联规则挖掘、聚类分析等工具分析数据，通过事件元数据记录的固定性和相对简单的模式，使标签输出到其他存储的技

术简化，并且利用来自其他社群现有的数据挖掘组件等[10]的模式。

这种需求来自于某些必须是全球性合作开展的研究。例如，声音是许多海洋生物生存活动的一个重要因素，而噪音对海洋生物的影响是当前海洋科学的一大未知变数。大量证据表明，在过去的几十年里人类噪音已成为海洋噪音的主要组成部分，特别是在一些日益工业化的地区。如果要进行全球海洋观测，并且实现对重要海洋生物生存功能与关系的预测功能，需要收集、观察和建模等研究，而科学数据的交流及其保障机制，就成为了一个重要议题[11]。类似海洋噪音的研究，还有许许多多，然而重要的是，人们必须借助开放科学才能达到数据共享和共同计算的效果。

2.3 数据驱动科研的需求

数据驱动科研背后的一层含义，就是科研数据的保存、流通、管理、保障等一系列的需求和问题。以结构生物学为例，早期发展阶段并没有建立维护实验数据的制度，然而，随着科研问题日益复杂化，目前在结构生物学界的人们越来越相信这些未被充分保管好的数据对于每个大分子结构的研究具有重要的参考价值[12]；数据被存档和收集起来，并且在适当的时机发布，是开放科学的重要举措。此外，共享科研设施，例如同步辐射光束线所广泛使用的复杂数据的存储、访问和管理问题，也是伴随着开放科学所衍生的新课题[12]。目前，人们认识到数据驱动科研在实践层面上，最佳做法便是开放科学。

2.4 研究成果充分利用的需求

研究成果被埋没的原因很多，最为可惜的是良好的研究成果因为没有立即转化为商业产品，而被日益增长的文献垃圾所掩埋掉。10 多年来，化学信息学对分析化学、生物化学药理学和药物发现等具有卓越贡献，然而其面临的挑战是如何更快地发展更好的产品：开放科学的模式有助于做出这些判断，并且一些开放科学的工具，有助于一些已经处于最坏情况（缺乏资金而且缺乏利用）的项目，转变为最佳情况（从系统生物学到虚拟生理的完全集成）的利用等[13]。其关键在于化学产品开发，往往需要在主流（即被接受、可预期的项目）和新颖之间做成选择。因此，研究成果的充分利用，或者说是研究数据的再利用，成为强劲拉引开放科学发展的需求动力。



3 因应新需求所产生的新工具

在科技信息交流的新需求下，新的工具便应运而生。开放科学的网格技术、安全与授权机制、云计算与智慧电网的应用以及数据交换包和社会网络工具等，是这一波科技变革从大到小的各种科研新工具。

3.1 开放科学的网格技术

开放科学网格（OSG）支持新科学、新科学家以及新方式的研究工作，通过在线教育、共同参与以及分发任务等，产生各种规模的新的社群活动[14]。开放科学网格是一种大型分布式计算基础设施分布式系统，它能够为科学界提供日益多样化的服务和软件开发，也促进了从业人员和研究人员的团队协作，实现了开放科学的初步理想[15]。

网格是由分散的机构所拥有的资源组成的，因此，必须利用网格计算环境的基于策略的调度技术，来处理新一代多媒体应用需求的异构资源：①它必须支持资源使用限制的调度；②它必须提供网格资源分配问题的最优化解决方案；③它必须考虑到资源分布的地理性和异质性；④它必须能够跟踪资源，进行工作量的调整[16]等。

通过开放科学网格，能够提供数百个通过标准访问计算和存储资源的网格界面[17]。因此，各国纷纷推进网络基础设施建设，从科研角度上，这些基础建设能够支持虚拟组织更有效地创建和利用知识[18]。

DOI: 10.7536/j.issn.2095-5472.2013.02.002

3.2 开放网络的安全与授权机制

为了建设完备的网格基础设施，资源供应者必须发布关于它的潜在资源和服务信息，使得用户和虚拟组织更容易判断资源的选择和调度；然而，这样一个对外提供包括敏感数据的网站，容易揭露用户的私人信息和曝露重要的实体数据等。因为这些潜在的安全漏洞，开放科学网格收集的数据包括资源选择、监督、审计、故障诊断、记录和现场核查等，需要一套风险评估和潜在威胁预警的模型，以管理和保护敏感数据[19]。在数以千计的用户和数百个机构之间的开放网格中，数据存储地点容易受到黑客攻击，网络安全成为跨越体制的问题，特别是大型科学实验的管理以及科学家的社会网络的协作规则是需要共同讨论和遵守的制度；通过混合整数规划（MIP）模型以及采取一些合作规则（例如，必要时暂停合作或关闭网站），能够最大限度地降低威胁级别[20]。

安全机制与授权机制密不可分。始创于 2006 年的互操作性授权，是为促进开放科学网格（OSG）和电子科技（EGEE）项目的网格之间的互操作性，藉由一个共同的授权协议，授权不同的软件产品进行集成和社会融合[21]。如此一来，开放科学网格（OSG）和电子科学网格（EGEE）就有了一个基于公钥基础设施的共同安全模型，使得网格资源授予访问用户具有一个虚拟组织（VO）的身份，而不是个人身份；为此，人们寻求一个授权的互操作性的联合项目，去定义包括一个共同的通信协议、授权和属性身份的众多定义，以及可以实施重要网格中间件的基础设施和数据集成机制[22]，从而满足了开放科学的数据流通需求，同时又可保障开放网络的安全性。

3.3 云计算与智慧电网的应用

大型开放科学网格，为研究人员提供了大量的计算资源，可以根据要求而限制访问，但是可能会影响用户的工作流，所以在许多情况下，通过设施即服务（IaaS）云计算，使得个人用户和社群的受限范围缩小，由于可以结合当地资源和需求资源配置的一个或以上的 IaaS 提供商等调配资源、远程访问和环境配置等的灵活性，网格基础设施（如网络虚拟工作站（WOW））的管理就变得比较容易掌握[23]。

例如，美国变形弹性网络(deformable elastic network, DEN)通过一个简单而直观的网络接口集成到 SBGrid 科学门户网站,提供接入智慧电网服务,能在几个小时内完成许多过去花费数千小时的标准计算[24]。智慧电网通过实施资源网关的标准接口，实现资源的统一访问。在开放科学网格（OSG 的）上，对用户的虚拟组织（VO）成员身份授予权限[25]。这些措施有利于调动计算资源，达到运算效率最优化。

3.4 支撑开放科学的数据交换与工作交流

如前所述，科技研发有研究数据重新利用、重新挖掘以及重新组织等需求，因此如何促使开放数据的交换和交流，便是一个小规模层次上的关键问题。以 Talkoot 工具包为例，这种小程序，能够有系统地收集、标记和共享地球科学数据，成为一种分享数据、工作过程和研究笔记的网络学术信息交流工具[1]。尽管不如智慧电网或者云计算那样涉及庞大资金和设备投入，却是开放科学中必不可少的一种新工具。另一方面，不仅仅是研究成果和实验数据的交流，在网上进行自我组织的研究项目也正在成为新型的科技研发方式。例如，在 myExperiment 社会网站上，人们能够共同进行发现、共享和策划科学的工作流程和实验计划，它是一套支持研究人员和社群的工作流程社会化的模式[26]。这种新的尝试，使得新一代科研人员认识到：开放科学使研究内容的传播更加广泛，可能会缩短知识流转的周期和知识发现的时间。

 4 新工具所产生的新问题

技术创新的关键往往不在于科学理论和工程实践，而在于之前所提到的需求变化、社群交流模式变化、生产条件变化以及最为关键的、如下将提到的、往往被人忽视的形而上因素。

4.1 开放科学的伦理问题

对生命伦理基本原则的尊重（如自主权、隐私权、善意原则、正义和研究完整性等）与开放的科学数据共享的技术工具之间，必须保持平衡，才能够有效地发展开放科学，一味顾虑伦理保障而无视科学发展的需求，是不切实际的，然而，一味强调技术工具而忽视科学伦理，更得不到社会群体的支持。所以，在科学技术与科学伦理之间，就需要科技信息政策居中协调并作为一个平衡双方的杠杆。例如，在干细胞研究领域里，目前，可公开访问的 SNP 数据库，因为允许个体识别的新方法和相关工具的应用，已经备受争议。目前对科学伦理所采取的技术保障措施，不能完全保护捐助者的身份资料；对此，国际干细胞论坛（ISCF）发布 的“SNP 人类胚胎干细胞的出版政策声明”中，强调了相关研究工作的伦理[27]。这说明“开放”科学其实也需要一定程度的自我约束和共同规范，如此，才能稳健成长。

4.2 支撑开放科学的政策研究问题

科学界对于开放科学往往有着不同的认识，例如什么是重复性、计算资源、科学荣誉、数据共享、成果共享、同行评审、成效评估等的含义往往模糊不清，从而需要广泛的意见和动机调查，并且通过不同的宣传，达到凝聚共识和达成协议。这些工作有赖于专业科技信息政策研究与咨询的工作小组推动，方能使得科研人员更容易获得学术信息交流的便利服务，并更好地从中受益[28]。这是纯粹从知识服务的角度来看待开放科学的政策决策支援工作。

如果从结构性矛盾等体制来看，开放科学机制与专利激励制度的矛盾，则更需要科技政策的居中协调。例如，在生物医学研究领域的体制内，知识产权（IP）制度使专利保护扩展到新的领域，这种变化带来了两个风险：①高成本的研究工具和少量具有获利效果的研究成果，弱化了知识传播；②对传统上与科技进步相关的开放规范的破坏[29]。一项针对法国大学教授的调查显示：从大学到产业的技术转让，会延迟研究结果的公布，从而阻碍了科学知识的传播，特别是在生命科学和医药领域中的知识商品化现象，更为显著[31]。可以说，由于受到公共资金资助的研究人员目前还处于一个混合体制之内，所以这种环境迫使他们在“开放科学”和“专利制度”的共享公约和市场规则之间摆荡不定，再加上最新的知识产权实践与不断增长的科技产品的紧密互动，深刻地影响科研经费政策，所以情况更加复杂而难以稳定发展。这些都是目前制约开放科学发展的政策问题。

5 走向未来的新型图书情报服务工作

图书馆是在创新型社会中进行科研成果描述、收集、保存、管理、取用等工作的重要组织。

不同种类的研究资源共享的规模越来越大，其中新形式的学术交流（如 Web2.0 或者其他非正式交流模式）的实践模式、阻碍者与推动者、创新动力等，值得进一步研究[31]。例如，我们可以将新兴的“社会网络”看作是有数以百万的人在一个集体的知识系统上（包括社区、博客、论坛、邮件列表、协作门户和其他在线系统）进行集体创作，这些技术是传统研讨会议、论文发表、书籍出版等分享知识机制的补充，而且成本更小。越来越多的科学家和研究人员开始利用这些“开放资源工具”作为集体讨论与科研成果发布的变革方式，它们利用同事的专长以加快科学知识的发现过程[32]。在这种环境下，图书情报工作面临的挑战是什么？

开放创新和开放资源工具是为了支持不同的人合作而出现的新思路，这为科学研究和教育提供了新的机遇，开放科学 2.0 包括公众科学论文、公开讲座以及集体智慧创作等几个方面，它不仅提高个人成果的显示度，也鼓励学术理论和工作实践之间的交流[33]。这种传统上的非正式信息交流模式正在变成主流的信息交流模式，图书情报机构将如何面对这一转变？一项英国 e-Science 项目的调查结果表明，虽然政策要求公开资源共享，并且在日常生活中也存在广泛共享的精神，但是仍然有许多不确定因素和尚未解决的问题，如出版形式和方式以及它的权益管理等[34]。未来，科技信息政策在开放科学的发展过程中，将日渐凸

DOI: 10.7536/j.issn.2095-5472.2013.02.002

显其重要性，如何深入了解技术、如何运用技术解决政策问题以及如何用政策指导开放科学的健全发展，都是这个时代的新挑战。图书馆人必须重新思考如何在现有服务的基础上，进行符合开放科学精神的创新工作实践。

[参考文献]

[1] Ramachandran R, Maskey M, Kulkarni A, et al. Talkoot: Software tool to create collaboratories for earth science[J]. Earth Science Informatics, 2012, 5(1):33-41.

[2] Mukherjee A, Stern S. Disclosure or secrecy? The dynamics of open science[J]. International Journal of Industrial Organization, 2009, 27(3):449-462.

[3] Kauppinen T, de Espindola G M. Linked open science-communicating, sharing and evaluating data, methods and results for executable papers[J]. Procedia Computer Science, 2011(4):726-731.

[4] Haeussler C. Information-sharing in academia and the industry: A comparative study[J]. Research Policy，2011, 40(1):105-122.

[5] Davis L, Larsen M T, Lotz P. Scientists' perspectives concerning the effects of university patenting on the conduct of academic research in the life sciences[J]. Journal of Technology Transfer, 2011, 36(1):14-37.

[6] Gans J S, Stern S. Is there a market for ideas?[J]. Industrial and Corporate Change, 2010, 19(3):805-837.

[7] Miller S D, Herwig K W, Ren S, et al. Data management and its role in delivering science at DOE BES user facilities——past, present, and future [EB/OL].[2012-11-04].http://iopscience.iop.org/1742-6596/180/1/012049/pdf/1742-6596_180_1_012049.pdf.

[8] Saksena R S, Boghosian B, Fazendeiro L, et al. Real science at the petascale[EB/OL].[2012-10-27]. http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/367/1897/2557.full.

[9] Stokes-Rees I, Levesque I, Murphy F V, et al. Adapting federated cyber infrastructure for shared data collection facilities in structural biology[EB/OL].[2012-09-22].http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22514186.

[10] van Gemmeren P, Malon D. Event metadata records as a testbed for scalable data mining[EB/OL].[2012-10-22]. http://iopscience.iop.org/1742-6596/219/4/042057/pdf/1742-6596_219_4_042057.pdf.

[11] Boyd I L, Frisk G, Urban E, et al. An International Quiet Ocean Experiment[J]. Ocenography, 2011, 24(2):174-181.

[12] Goovaerts M. Oceandocs and open science dirctory: Two facets of the information policy of UNESCO/IOC-IODE [EB/OL].[2012-11-04].https://darchive.mblwhoilibrary.org/bitstream/handle/1912/3777/Goovaerts_iamslic2009.pdf?sequence=1.

[13] Oprea T I, Taboureau O, Bologa C G. Of possible cheminformatics futures[J]. Journal of Computer-Aided Molecular Design, 2012, 26(1):107-112.

[14] Pordes R, Altunay M, Avery P, et al. New science on the open science grid[EB/OL].[2012-10-27]. http://osg-docdb.opensciencegrid.org/0007/000761/001/NewScienceontheOpenScienceGrid.pdf.

[15] Altunay M, Avery P, Blackburn K, et al. A science driven production cyber infrastructure——The open science grid[J]. Journal of Grid Computing, 2011, 9(2):201-218.

[16] In J U, Lee S, Rho S, et al. Policy-based scheduling and resource allocation for multimedia communication on grid Computing environment[J]. IEEE Systems Journal, 2011, 5(4):451-459.

[17] Garzoglio G, Levsbina T, Mhashilkar P, et al. ReSS: A resource selection service for the open science grid[EB/OL].[2012-08-16].http://lss.fnal.gov/archive/2008/pub/fermilab-pub-08-016-cd.pdf.

[18] Zou Guangyu, Yilmaz L. Dynamics of knowledge creation in global participatory science communities: 0pen innovation communities from a network perspective[J]. Computational and Mathematical Organization Theory, 2011, 17(1):35-58.

[19] Cholia S, Porter R J. Publication and protection of sensitive site information in a grid infrastructure[EB/OL].[2012-10-27]. http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4534276.

[20] Altunay M, Leyffer S, Linderoth J T, et al. Optimal response to attacks on the open science grid[J]. Computer Networks, 2011, 55(1):61-73.

[21] Garzoglio G, Bester J, Chadwick K, et al. Adoption of a SAML-XACML profile for authorization interoperability across grid middleware in OSG and EGEE[EB/OL].[2012-08-16].http://iopscience.iop.org/1742-6596/331/6/062011/pdf/ 1742-6596_331_6_062011.pdf.

[22] Garzoglio G, Alderman I, Altunay M, et al. XACML profile and implementation for authorization interoperability between OSG and EGEE[EB/OL].[2012-10-27].http://iopscience.iop.org/1742-6596/219/6/062014/pdf/1742-6596_219_6_062014.pdf.

[23] Wolinsky D I, Figueiredo, R. Experiences with self-organizing, decentralized grids using the grid appliance[C]//HPDC 11: Proceedings of the 20th International Symposium on High Performance Distributed Computing, 2011:183-194.

[24] O'Donovan, DJ, Stokes-Rees, I, Nam, Y, Blacklow, SC, Schroder, GF, Brunger, AT, Sliz, P. A grid-enabled web service for low-resolution crystal structure refinement[EB/OL].[2012-11-04].http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3282622.

[25] Garzoglio G, Wang N B, Sfiligoi I, et al. SVOPME: A scalable virtual organization privileges management environment[EB/OL].[2012-09-22].http://www.fnal.gov/docs/products/voprivilege/documents/SVOPME-iSGC09-Paper.pdf.

[26] De Roure D, Goble C, Aleksejevs S, et al. Towards open science: The my Experiment approach[J]. Concurrency and Compuation——Practice and Experience, 2010, 22(17): 2335-2353.

[27] Knoppers B M, Isasi R, Benvenisty N, et al. Publishing SNP genotypes of human embryonic stem cell lines: Policy statement of the international stem cell forum ethics working party[J]. Stem Cell Reviews and Reports, 2011, 7(3):482-484.

[28] Grubb A M, Easterbrook S M. On the lack of consensus over the meaning of openness: An empirical study[J]. PLOS ONE, 2011, (8):e23420.doi:10.1371/journal.pone.0023420.

[29] Jonjic T. Juggling between open science and the market: Public science responses to the patentability of biomedical research tools[J]. Periodicum Biologorum, 2010, 112(4):381-390.

[30] Penin J. On the consequences of patenting university research: Lessons from a survey of French academic inventors[J]. Industry and Innovation, 2010, 17(5):445-468.

[31] Procter R, Williams R, Stewart J, et al. Adoption and use of Web 2.0 in scholarly communications[J]. Philosophical Hilosophical Transactions of the Royal Society A-Mathematical Physical and Engineering Sciences, 2010,368(1926):1926-4039.

[32] Ramachandran R, Movva S, Conover H, et al. Talkoot software appliance for collaborative science[EB/OL].[2012-09-22]. http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5417651.

[33] Tacke O. Open science 2.0: How research and education can benefit from open innovation and Web 2.0[EB/OL].[2012-11-07].http://www.olivertacke.de/wp-content/uploads/2011/02/Tacke-2010-Open_Science_2.0-preview-100613-OLT.pdf.

[34] Fry J, Schroeder R, den Besten M. Open science in e-science: Contingency or policy?[J]. Journal of Documentation, 2009, 65(1):6-32.

DOI: 10.7536/j.issn.2095-5472.2013.02.002